



О ГРАНИЦЕ ДАЛЬНЕЙ ЗОНЫ ИЗЛУЧЕНИЯ АНТЕНН ПРИ ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ

Ю.В. Пищиков, С.В. Якубовский, к.т.н.

На начальных этапах проектирования радиолокационных объектов, обладающих относительно высокой излучаемой мощностью, определяются размеры и конфигурация санитарно-защитной зоны, обеспечивающей экологическую (электромагнитную) безопасность обслуживающего персонала и населения, а также окружающей среды от воздействия излучаемых электромагнитных полей (ЭМП).

Оценка уровней ЭМП проводится на этом этапе методом математического моделирования, при котором плотность потока мощности поля в предполагаемых территориальных зонах рассчитывается по методикам, приведенным в [1-4]. При этом наиболее важные исходные данные, необходимые для оценки, целесообразно определять экспериментально. При отсутствии такой возможности они определяются расчетно-теоретическим путем.

Такими исходными данными, в частности, являются значения множителя дополнительного (относительно свободного пространства) ослабления радиоволн $V_{тр}$ на приземных трассах распространения, а также характеристики диаграммы направленности передающей антенны радиолокационной системы (РЛС) в ближней и дальней зонах излучения.

Величина плотности потока мощности в дальней зоне излучения передающей антенны Π определяется по формуле

$$\Pi = \Pi_0(R) \cdot F(\theta, \varphi) V_{тр}, \quad (1)$$

где: $\Pi_0(R)$ — плотность потока мощности в главном луче диаграммы направленности (ДН) антенны на расстоянии R ;

$F(\theta, \varphi)$ — значение нормированной по мощности ДН передающей антенны в направлении на облучаемую точку;

θ, φ — углы отклонения направления на облучаемую точку от электрической оси луча ДН антенны в вертикальной и горизонтальной плоскостях соответственно;

$V_{тр}$ — множитель дополнительного (относительно свободного пространства) ослабления радиоволн, учитывающий влияние подстилающей земной поверхности и рельефа местности.

Величина $\Pi_0(R)$, в свою очередь, определяется выражением

$$\Pi_0(R) = \frac{P \cdot G_0}{4 \cdot \pi \cdot R^2} \cdot \cos \varphi \cdot \cos \theta \quad (2)$$

где: P — среднее значение излучаемой мощности;

G_0 — коэффициент усиления передающей антенны в направлении электрической оси ДН;

R — расстояние от передающей антенны до точки приема ЭМП.

В случае применения передающей фазированной антенной решетки (ФАР) множители $\cos \varphi$ и $\cos \theta$ учитывают уменьшение коэффициента усиления G при отклонении главного лепестка ДН антенны от нормали к полотну ФАР на углы φ и θ .

Величина $\Pi_0(R)$ в ближней зоне излучения передающей ФАР с прямоугольным раскрытием в осевом направлении диаграммы направленности может быть приближенно оценена по формуле [1]

$$\Pi_0(R) = \frac{P}{S_a \cdot \left[k_{г} + \frac{1}{k_{г}} \cdot \Psi(x_{г}) \right] \cdot \left[k_{в} + \frac{1}{k_{в}} \cdot \Psi(x_{в}) \right]} \quad (3)$$

где: $k_{г}$ и $k_{в}$ — коэффициенты использования поверхности антенны в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно;

$$x_{г} = \frac{R}{R_{дг}} \quad x_{в} = \frac{R}{R_{дв}} ;$$

$R_{г}$ и $R_{в}$ — расстояния от фазового центра антенны до границ дальней зоны ее излучения в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно;

$\Psi(x)$ — аппроксимирующая функция, задающая плавный переход величины плотности потока мощности при удалении расчетной точки из ближней зоны в дальнюю. Эта функция определяется по формуле [1]

$$\Psi(x) = \frac{4 \cdot x}{\pi} \cdot \arctg(4,6 \cdot x) \quad (4)$$

Граница дальней зоны излучения находится на расстоянии R_0 от фазового центра антенны. Для крупноапертурных ФАР, когда размер L источника излучения (полотна раскрытия антенны) существенно больше длины волны λ , применять для расчета электрической E_a и магнитной H_φ составляющих поля с помощью известных уравнений Максвелла, справедливых для симметричного укороченного вибратора, нельзя. В этом случае следует использовать разные зависимости, поскольку кривизна фронта приходящей волны не позволяет рассматривать бесконечно малые элементы антенны как находящиеся в фазе [4]. Это иллюстрируется рис. 1, где показано, что фронт волны сначала достигает центра приемной антенны. Ее внешние края представлены с учетом увеличения запаздывания фазы относительно оси. Заметим, что при оценке экологической безопасности передающих радиотехнических объектов приемной антенной следует считать человека, «раскрыв» которого в соответствии с требованием нормативных документов [3] принимается равным 2 м.

Таким образом, чтобы получить амплитуду общего вектора волны, необходимо проинтегрировать приращения бесконечно малых элементов. Результаты расчетов можно иллюстрировать численным интегрированием для $k \cdot \lambda = \lambda/8$; $\lambda/4$; $\lambda/2$; $3 \cdot \lambda/4$; λ и $3 \cdot \lambda/2$ (рис. 1) и кривой зависимости относительного усиления антенны от расстояния (рис. 2). Отметим при этом колебательный характер изменения усиления антенны в ближнем поле и общее уменьшение усиления (характеризуемое огибающей) при уменьшении расстояния от источника излучения до точки приема.

Чтобы определить расстояние R_0 , воспользуемся рис. 1, из которого следует:

$$(R_0 + k \cdot \lambda)^2 = R^2 + (L/2)^2, 2 \cdot R_0 \cdot k \cdot \lambda + (k \cdot \lambda)^2 = (L/2)^2 \quad (5)$$

Поскольку $2 \cdot R_0 \cdot k \cdot \lambda \gg (k \cdot \lambda)^2$, можно принять, что $2 \cdot R_0 \cdot k \cdot \lambda \approx (L/2)^2$ или $R_0 = L^2 / (8 \cdot k \cdot \lambda)$ (6)

Чтобы установить границу между ближним и дальним полем R_0 , остается определить допустимую ошибку δ (дБ), при которой усиление постоянно, в случае перемещения от R_0 к бесконечности (рис. 2).

Величина δ должна выбираться для конкретных условий оценки R_0 и допустимого фазового сдвига ($k \cdot \lambda$) между центром волнового фронта (ось луча ДН) и его периферийной частью (рис. 1). Величина этой допустимой ошибки определяется необходимостью обеспечения на относительно малых дальностях (где плоский фронт волны еще не сформировался) таких важнейших тактико-технических характеристик (ТТХ) радиолокационных систем как, например, разрешающая способность и точность определения дальности и угловых координат. При достаточно высоких требованиях к этим ТТХ, как правило, используется так называемый критерий Релея, при котором $\delta \approx 0,1$ дБ и $k \cdot \lambda = \lambda/16$.

В теории антенн и радиолокации часто применяют именно этот критерий, при использовании которого, подставляя $k \cdot \lambda = \lambda/16$ в формулу (6), получим $R_0 = 2 \cdot L^2_{max} / \lambda$.

Этот же критерий встречается и в ряде других радиотехнических направлений, где должны предъявляться, как уже сказано выше, высокие требования к ТТХ системы на относительно малых дальностях. Например, для РЛС разведки наземных движущихся целей требуемые ТТХ должны обеспечиваться и на малых дальностях, соизмеримых с величиной R_0 , где может находиться передвигающаяся пехота или бронетехника противника. Соотношение $R_0 = 2 \cdot L^2_{max} / \lambda$ используется и в нормативных документах, определяющих требования к экологической безопасности радиотехнических объектов, в том числе РЛС дальнего обнаружения воздушных и космических объектов [3].

Предъявлять такие требования к ТТХ объектов на границе дальней зоны излучения антенны (то есть на малых удалениях) на территории, прилегающей к месту дислокации, нет необходимости. Согласно [3], при натурных измерениях величин электромагнитного поля на указанной территории, проводимых с целью оценки экологической безопасности передающих радиотехнических объектов, допустимая ошибка измерений уровня ЭМП не должна превышать $\pm 30\%$ (не более 5 дБ).

Исходя из этого было бы достаточно допустимую ошибку δ оценить величиной, примерно 1 дБ, при которой $k \cdot \lambda = \lambda/4$ и $R_0 = 0,5 \cdot L^2_{max} / \lambda$.

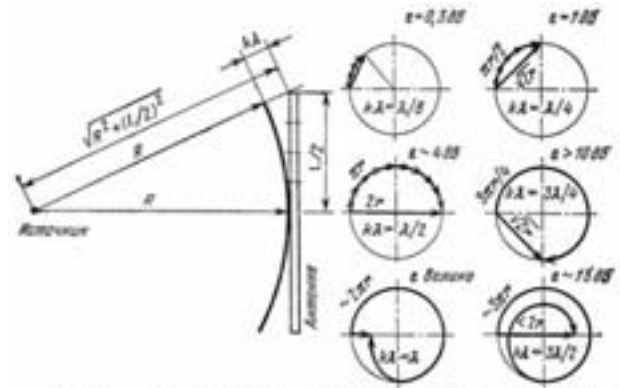


Рис. 1. Возникновение фазовой ошибки из-за кривизны фронта волны

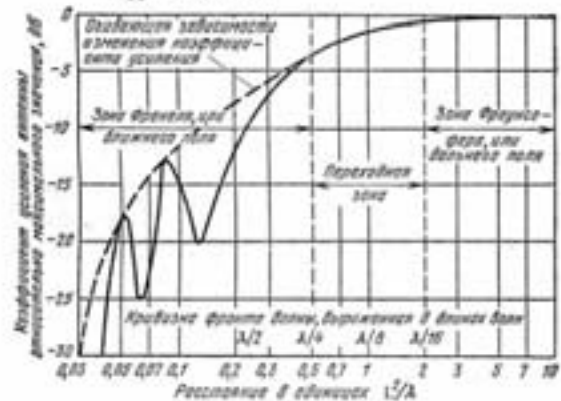


Рис. 2. Зависимость относительного усиления антенны от расстояния между источником излучения и антенной

Это предположение можно подтвердить (хотя и косвенно) на примере РЛС «ПЕЙВ ПОЗ» (PAVE PAWS), имеющей размеры антенного полотна $22,1 \times 22,1$ м, расчетное значение $\lambda = 0,69$ м и величину $R_0 \approx 439$ м [5]. Нетрудно установить, используя формулу (6), что величина R_0 оценивается соотношением $R_0 = 0,63 \cdot L^2_{max} / \lambda$.

Таким образом, при разработке методических рекомендаций для проведения практических работ по оценке уровня ЭМП передающих радиотехнических объектов можно использовать соотношение $R_0 = (0,7...1) \cdot L^2_{max} / \lambda$.

Использованная литература

1. Минин Б.А. СВЧ и безопасность человека. - М.: Сов. радио, 1974.
2. Расчетные методы оценки уровней СВЧ электромагнитных излучений на радиотехнических объектах: Методические рекомендации. Министерство обороны СССР. - М.: Воениздат, 1987.
3. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов», СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03, Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2003.
4. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. Выпуск 3/ Пер. с англ.; под ред. А.Д. Князева. - М.: Сов. радио, 1979. - С. 31-33.
5. Леонов С.А. Радиолокационные средства противовоздушной обороны. - М.: Воениздат, 1988.

ОАО «НПК «НИИДАР»
107258, Россия, г. Москва
1-я Бухвостова ул., д. 12/11
тел. (095) 168-1151